

Сила вальцовки по проходам составила:

$$P_1 = 3220,8 \cdot 128,25 = 412 \text{ (кН)}$$

$$P_2 = 3403,1 \cdot 189,5 = 645 \text{ (кН)}$$

$$P_3 = 4345,9 \cdot 257,1 = 1117 \text{ (кН)}$$

Необходимой силой вальцовки является максимальное усилие по переходам которое составляет  $P = 1,117$  МН. Сила выбранных ковочных вальцов модели С1240 [4]: составляет  $P = 2,5$  МН, что превышает необходимую силу вальцовки полученную расчётом.

Механизация и автоматизация операций на вальцах производится манипулятором МП-4[3]. Манипулятор выполняет следующие работы: захват заготовки клещами, загрузку нагретой заготовки на линию первого ручья, подачу заготовки в ручьи вальцовочных штампов и отвод её от вальцов, перенос заготовки от ручья к ручью и высвобождение заготовки после вальцовки.

В качестве ТС мы рекомендуем использовать смазку В-1. Подачу смазки осуществлять распылителем через распылительное устройство разработанное кафедрой.

**Выводы.** В результате предлагаемой замены технологического процесса штамповки поковки «остряк» на вальцовку уснижается трудоёмкость изготовления поковки, повышается стойкость штампов, а также снижается расходы металла ввиду отсутствия облоя. В результате себестоимость продукции будет значительно снижена.

**Список литературы:** 1. Каргин Б.С. Исследование эффективности технологических смазок при штамповке поковок «остряк» / Б.С. Каргин, К.К. Диамантопуло, Г.Е. Бурцев, Л.Д. Гофман, Ю.В. Слепов, Е.Н. Мишинский. – XIII региональная научно-техническая конференция: сб. тезисов докладов в 2 т. Мариуполь: ПГТУ, 2006-335с. 2. Смирнов В.К. Горячая вальцовка заготовок/ В.К. Смирнов, К.И. Литвинов, С.В. Харитонов. –М.: Машиностроение, 1980.-304 с. 3. Ковка и объемная штамповка: Справочник в 2-х т./ под ред. М.В. Сторожева. –М.: Машиностроение, 1967. 4. Атрошенко А.П. Технология горячей вальцовки/ А.П. Атрошенко. –М.: Машиностроение, 1969.-176 с. 5. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х т./ под ред. В.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1985.

**УДК 621.777.01**

**А.Я. МОВШОВИЧ**, докт. техн. наук, проф., зам. дир. по науч. работе НПП «Оснастка», г. Харьков

**Ю.А. КОЧЕРГИН**, инженер, зам. ген. директора ГП «Харьковстандартметрология»

**И.К. КИРИЧЕНКО**, докт. техн. наук, УИПА, г. Харьков

**Н.Д. ЖОЛТКЕВИЧ**, докт. техн. наук, УИПА, г. Харьков

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ГИБКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

У статті представлені результати експериментально-аналітичного дослідження зносостійкості формотворчих елементів гибочних штамів залежно від межі міцності і товщини штампувало матеріалу, матеріалу формотворчих елементів і величини партії штампованих деталей.

В статье представлены результаты экспериментально-аналитического исследования износостойкости формообразующих элементов гибочных штампов в зависимости от предела прочности и толщины штампуемого материала, материала формообразующих элементов и величины партии штампуемых деталей.

The article presents the results of experimental and analytical study of durability of the formative elements of bending dies, depending on the strength and thickness of the stamped material, the material forming elements and the magnitude of the party stamped parts.

### Методы исследования

Значения износостойкости формообразующих элементов специализированных гибочных штампов определялись по результатам экспериментальных исследований проведенных в производственных условиях экспериментального производства Харьковского научно-исследовательского института технологии машиностроения. В качестве штампуемого материала использовались стали: Ст3, Ст5, сталь 45, толщиной 4, 5, 6, 8 мм. Материал формообразующих элементов - сталь У8А. Зазор между формообразующими элементами назначался в соответствии с рекомендациями проф. Романовского В.П. [1]. Эксперименты проводились с использованием штампа [2], отличающихся возможностью бесступенчатой регулировки положения формообразующих элементов конструкции, перегиба полков деталей на расчетный угол с одновременной их калибровкой, устойчивостью технологических параметров оснастки в процессе эксплуатации, достигаемой конструктивными особенностями матрицедержателя.

Контрольные эксперименты проводились для определения влияния на износостойкость материала формообразующих элементов: сталей Х12М и ШХ15.

### Полученные результаты

В таблице 1 представлены средние значения износа формообразующих элементов СПШ для гибки при величине партии 12 тыс. штампуемых деталей.

Таблица 1 - Значения суммарного износа формообразующих элементов гибочных СПШ

Толщина материала, мм	Предел прочности материала, МПа			
	400	500	550	600
	Удельный суммарный износ, мкм			
4	12,65	15,2	18,34	23,8
5	23,6	28,0	32,7	36,0
6	30,1	35,9	42,8	45,1
8	42,1	48,6	50,0	56,0

Для облегчения определения функциональной зависимости между переменными величинами, данные экспериментов представлены в виде графиков. При графическом построении зависимости между переменными величинами  $C_T$ ,  $S$  и  $\sigma_B$  поступаем следующим образом: вначале рассматриваем одну из независимых переменных как параметр и строим соответствующее ему семейство кривых  $C_T = f(S)$  (Рис.1, б); поступив точно также со второй независимой переменной, строим семейство кривых  $C_T = f(\sigma_B)$  (Рис1, а).

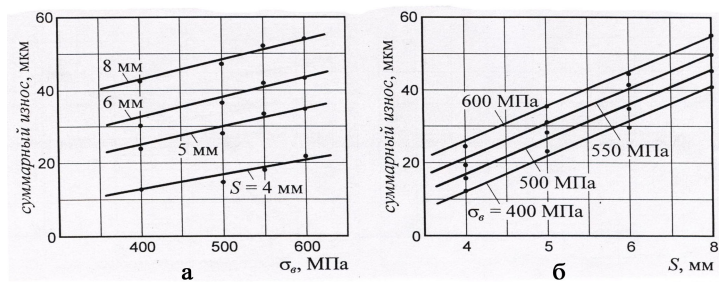


Рис.1. Зависимость средних значений суммарного износа  $C_T$  формообразующих элементов от  $\sigma_B$  и  $S$  при 12,0 тыс. рабочих ходов процесса (прямоугольная система координат).

Графики построены в равномерных шкалах прямоугольной системы координат. Выбранный масштаб, одинаковый по обеим осям координат, позволил избежать возможных при построении искажений, что особенно важно при определении по графику вида формулы, отвечающей зависимости между переменными величинами.

Сопоставление полученных результатов показало, что переменные величины  $C_T$ ,  $S$  и  $\sigma_B$  связаны между собой прямолинейной зависимостью.

Сравнение полученных графиков с различными кривыми, уравнения которых известны, позволило определить тип формулы, отвечающей функциональной зависимости между экспериментальными данными.

Среди многообразных видов уравнений с тремя переменными, только одна группа, а именно - уравнения вида

$$y = ax^m z^n \quad (1)$$

при положительных значениях коэффициента  $a$  и при любых значениях показателей степени  $m$  и  $n$  дают при построении в логарифмической сетке параллельные между собой прямые линии, как в семействе по  $X$ , так и в семействе по  $z$  [3].

Нетрудно заметить, что построение графиков по результатам экспериментов в логарифмической сетке (Рис. 2) не изменяет прямолинейной зависимости между переменными и параллельности прямых, а лишь изменяет их наклон по отношению к осям координат.

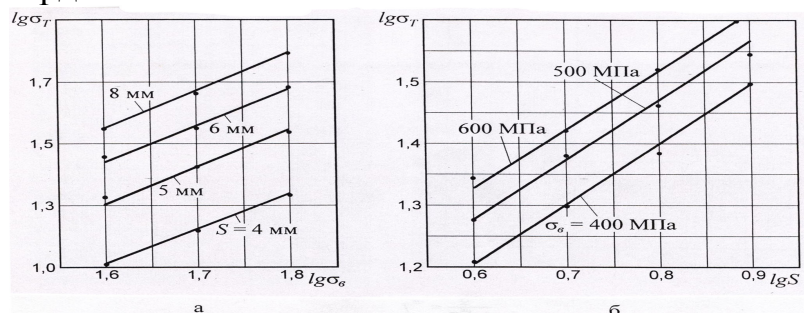


Рис.2. Зависимость средних значений суммарного износа  $C_T$  формообразующих элементов от  $\sigma_B$  и  $S$  при 12,0 тыс. рабочих ходов процесса (логарифмическая система координат).

Износостойкость формообразующих элементов специализированных гибочных штампов находится в прямой зависимости от толщины и предела прочности материала, тогда формулу (1) можно представить в виде:

$$C_T = a \cdot S^m \cdot \sigma_a^n \quad (2)$$

где  $C_T$  - изменение износостойкости формообразующих элементов специализированных гибочных штампов, мкм;  $S$  - толщина штампуемого материала, мм;  $\sigma_B$  - предел прочности штампуемого материала, кг/мм<sup>2</sup>;  $a$  - постоянный коэффициент;  $m, n$  - показатели степени.

Значения  $C_T, S$  и  $\sigma_B$  известны. Нашей задачей является нахождение по результатам наблюдений наиболее вероятных значений коэффициентов  $a, m, n$ .

### Математическая обработка результатов экспериментов

Для определения значений коэффициентов уравнения (2) применим способ наименьших квадратов, утверждающих, что наиболее вероятные значения параметров будут таковыми, при которых сумма квадратов отклонений будет наименьшей, т.е.

$$\sum_{i=1}^k [y_i - f(x_i, a_0, a_1, \dots, a_m)]^2 = \min \quad (3)$$

Рассматривая здесь  $a_0, a_1, \dots, a_m$  как независимые переменные и приравнявая нулю, частные производные от левой части по этим переменным, получим в точности  $m+1$  уравнений с  $m+1$  неизвестными.

Сопоставление и решение этой системы особенно просто в том случае, когда функция  $f(x_i, a_0, a_1, \dots, a_m)$  линейна относительно параметров.

В нашем случае преобразуем уравнение  $C_T = a \cdot S^m \cdot \sigma_a^n$  в линейное путем логарифмирования.

$$\lg C_T = \lg a + m \lg S + n \lg \sigma_a \quad (4)$$

Обозначим  $\lg C_T = y, \lg a = A, \lg S = x, \lg \sigma_a = z$ , получим уравнение в форме

$$y = A + mx + nz, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k [y_i - (A + mx + nz)]^2 = \min \quad (6)$$

Дифференцируем сумму квадратов по  $A, m, n$  и приравнявая нулю производные получим систему уравнений нормальной формы (7)

$$\begin{aligned} kA + m \sum_{i=1}^k x_i + n \sum_{i=1}^k z_i &= \sum_{i=1}^k y_i; \\ A \sum_{i=1}^k x_i + m \sum_{i=1}^k x_i^2 + n \sum_{i=1}^k z_i x_i &= \sum_{i=1}^k y_i x_i; \\ A \sum_{i=1}^k z_i + m \sum_{i=1}^k x_i z_i + n \sum_{i=1}^k z_i^2 &= \sum_{i=1}^k y_i z_i \end{aligned} \quad (7)$$

$k$  - число экспериментов, для нашего случая  $k = 12$ .

Данные, необходимые для решения системы уравнений при определении коэффициентов  $A, m, n$  приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Экспериментальные данные для решения системы уравнений (7)

$\sum_{i=1}^{12} x$	$\sum_{i=1}^{12} x^2$	$\sum_{i=1}^{12} z$	$\sum_{i=1}^{12} z^2$	$\sum_{i=1}^{12} y$	$\sum_{i=1}^{12} yx$	$\sum_{i=1}^{12} yz$	$\sum_{i=1}^{12} zx$
8,9469	6,8154	20,3172	34,4608	17,6739	13,4013	30,0110	15,1472

После подстановки полученных данных в уравнения (7), имеем систему трех уравнений с тремя неизвестными

$$\begin{aligned} 12A + 8,9469m + 20,3172n &= 17,6739; \\ 8,9469A + 6,8154m + 15,1472n &= 13,4013; \\ 20,3172A + 15,1472m + 34,4608n &= 30,0110 \end{aligned} \quad (8)$$

Решая полученную систему уравнений (8) путем последовательного исключения независимых переменных по способу Гаусса, получим:

$$C_T = 2,322 \cdot S^{1,4839} \cdot \sigma_a^{1,2} \quad (9)$$

С достаточной для практического пользования точностью выражение (9) может быть представлено в виде:

$$C_T = 2,322 \cdot S^{1,5} \cdot \sigma_a^{1,2} \quad (10)$$

Предложенная формула дает хорошую сходимость в результате экспериментов.

Вероятность значений средней квадратической ошибки ( $\sigma_0^1$ ) определяется по формуле:

$$\sigma_0^1 = \frac{\overline{E_1}}{\hat{E} - N_1}, \quad (11)$$

где  $\overline{E_1}$  - сумма квадратов остатков;

K – число экспериментов;

$N_1$  – число неизвестных.

В результате получено значение  $\sigma_0^1 = 0,8953$ .

Следовательно, по формуле (10) можно с достаточной степенью точности прогнозировать износостойкость формообразующих элементов специализированных гибочных штампов при штамповке широкой номенклатуры широко распространенных конструкционных углеродистых сталей обыкновенной и повышенной точности.

Это особенно важно при планировании и изготовлении необходимого количества гибочных пуансонов и матриц для технологической подготовки производства в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска продукции.

Для определения влияния величины партии штампуемых деталей на износостойкость формообразующих элементов в пределах 0,5-12,0 тыс. штук необходимо ввести в формулу (10) поправочный коэффициент  $k_0$ .

Значение  $k_0$  определено из эмпирической зависимости:

$$k_0 = \Pi_0 / \Pi_{12}, \quad \tilde{N}'_{\delta} = \tilde{N}_{\delta}^0 \cdot k_0 \quad (12)$$

где  $\tilde{N}_{\delta}^0$  - суммарный износ, образовавшийся в результате изготовления базовой партии деталей 12,0 тыс. штук (при выполнении 12,0 тыс. рабочих ходов прессы);  $\tilde{N}'_{\delta}$  - суммарный износ, образующийся при изготовлении искомой партии  $\Pi_0$ , мкм;  $\Pi_0$  - размер партии, для которой определяется  $k_0$ ;  $\Pi_{12}$  - размер базовой партии, тыс. штук.

В табл. 3 приведены значения поправочного коэффициента  $k_0$ .

Таблица 3 - Значения коэффициентов  $k_0$

$\Pi_0$	500	1000	2000	4000	6000	8000	10000	12000
$\tilde{N}'_o$	4,3	8,6	17,2	34,45	51,7	68,9	86,1	103,35
$k_0$	0,042	0,08	0,16	0,3	0,5	0,67	0,8	1

На износостойкость формообразующих элементов специализированных гибочных штампов большое влияние оказывает материал, из которого они изготовлены.

Проведенные исследования показали, что при изготовлении формообразующих элементов специализированных гибочных штампов из стали X12M и ШХ15 увеличение их износостойкости находится в прямой зависимости от толщины штампуемого материала.

При этом по сравнению со сталью У8А коэффициент  $k_i$  повышения износостойкости составляет для стали X12M и ШХ15 при штамповке деталей:

толщиной 4 мм соответственно 1,57 и 1,36;

толщиной 5 мм соответственно 1,84 и 1,38;

толщиной 6 мм соответственно 1,75 и 1,37;

толщиной 8 мм соответственно 1,62 и 1,23.

Таким образом, с достаточной степенью точности, для легированных инструментальных сталей ШХ 15, X12M:  $k_i = 1,4 \dots 1,7$ .

Большие значения  $k_i$  рекомендуются для сталей класса X12, X12M, X12Ф.

В результате, на основании выше изложенного, формула (12) может быть представлена в следующем виде:

$$C_T = 2,322 \cdot S^{1,4839} \cdot \sigma_a^{1,2} \cdot k_0 \cdot k_i \quad (13)$$

### Выводы.

1. Увеличение толщины штампуемого материала приводит к повышению износа формообразующих элементов специализированных гибочных штампов. При этом изменение величины износа происходит непропорционально изменению толщины материала.

2. Между толщиной штампуемого материала и износом формообразующих элементов специализированных гибочных штампов во всех случаях имела место прямолинейная зависимость.

3. В результате проведенных исследований получена формула для определения износостойкости формообразующих элементов конструкции СПШ для гибки листовых деталей, позволяющая прогнозировать требуемое количество формообразующих элементов, необходимых для технологической подготовки производства в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска изделий.

**Список литературы:** 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: машиностроение, 1971. – 782 с. 2. Мовшович А.Я., Кочергин Ю.А. Конструкции и технологические возможности специализированных переналаживаемых гибочных штампов. Вестник Национального технического университета «КПИ». – К.: НТУУ «КПИ». – 2010. – с. 250 – 254. 3. Блох А.С. Основные графические методы обработки опытных данных. М.: Машгиз, 1951. – 175 с.